

*Запропонована методика обробки зображень ССА отриманих під час її обльоту.*

**УДК 656.71.057:629.735.(045)**

**В.І. Степура**, канд. техн. наук  
Національний авіаційний університет

## **ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ ССА ОТРИМАНИХ ПІД ЧАС ОБЛЬОТУ**

**Вступ.** За загальними оцінками за останні 10-15 років інтенсивність перевезень повітряним транспортом повинна збільшитися в двічі. Тому усі проблеми пов'язані з безпекою польотів важко переоцінити. Застосування світлосигнальної системи аеродрому вночі та при поганій видимості, забезпечує пілотів ту картину, яку б він бачив би при хорошій видимості і денних умовах. З цією метою світлосигнальна система аеродрому проектується таким чином, щоб у залежності від положення у просторі повітряного корабля, особливостей місцевості розташування аеродрому, часу доби та погодних умов, пілот міг би постійно контролювати положення і швидкість літака.

З метою орієнтації пілота та отримання ним достатньої візуальної інформації розроблені стандартні конфігурації розміщення світлосигнального обладнання [1]. Дотримання відповідних стандартів, що до розміщення світлосигнальних вогнів, їх сили світла і напрямку випромінювання гарантують нормований рівень безпеки польотів. На сьогоднішній день, оцінка якості світлосигнальних систем повинна здійснюватися за результатами літних перевірок за участю суб'єктивних спостерігачів з використанням відповідних методик [2,3].

**Аналіз досліджень і публікацій**, а також досвід експлуатації світлосигнальних систем вказує на незадовільний рівень здійснення літних перевірок, та незадовільну практичну відсутність аналізу його результатів. Це пов'язано, перш за все, з високою вартістю здійснення подібних перевірок за допомогою спеціалізованих літаючих-лабораторій, адже тягар фінансових витрат на їх здійснення покладено на самі аеропорти. По друге – методика вже застаріла і не відповідає сучасним вимогам і рівню розвитку науки в техніки.

Аналіз нині діючого документа [4], що встановлює єдиний порядок сертифікації аеродромів, внесених до Державного реєстру цивільних аеродромів України вказує, що придатність аеродром до експлуатації визначається, крім іншого, на основі представлених актів наземної та льотної перевірок наземних засобів радіо- і світлотехнічного забезпечення польотів. Акт льотної перевірки має обов'язково містити фотографії світлосигнальної системи на кожний напрямок посадки. З метою спрощення отримання зображень знімки дозволяється отримувати інженерам служби світло забезпечення польотів з бору рейсового літака. При цьому не висувається ніяких рекомендацій стосовно правил проведення фотографування і апаратного забезпечення. Цілком зрозуміла якість більшості зображень, отриманих в умовах.

З метою економії коштів, деякі аеропорти замінюють фотографування з борту літака отриманням знімків з мобільної телескопічної вежі, які застосовуються при обслуговуванні ліній високої напруги. Точку фотографування при цьому розташовують як найближче до лінії глісади у зоні перед вогнями наближення. Очевидно, що інформація стосовно світлосигнальної системи отримана у результаті наземної перевірки більш повна у порівнянні з інформацією отриманою зі знімків описаним вище способом. Згадані акти і фотографії, по суті, є єдиним доказом придатності світлосигнальної системи до експлуатації.

Слід зауважити, що перевірка за методикою описаною в [2,3] не містить фотометричних досліджень. Вона лише оперує поняттям "вогні, що не світять". Працездатність системи оцінювалася об'ємом вогнів, що не світять  $O_n$  за виразом:

$$O_n = \frac{K_n}{K} 100\%$$

де  $K_n$  – кількість вогнів, що не світять у відповідній підсистемі;

$K$  - загальна кількість вогнів у підсистемі, що відповідає схемі розміщення для даного аеропорту.

Вперше методика, що містить фотометричні дослідження була запропонована і описана у [5,6]. Вона доповнювала запроваджену додатковими методами фотографування і обробки, які дозволяли оцінити світлотехнічні характеристики аеродромних вогнів. Крім того, у ній вводилося поняття кількості вогнів сила світла яких рівна або нижча за певний встановлений критичний рівень. Працездатність світлосигнальної системи оцінювалася де що за іншим виразом:

$$O_n = \frac{K_n + K_k}{K} \cdot 100\%$$

де  $K_k$  – кількість вогнів, сила світла яких рівна або нижча за певний встановлений критичний рівень (для світлосигнальної системи на початку експлуатації встановлений рівень сили світла відповідає половині значення для нового вогню).

Хоча методика не передбачала застосування нових приладів, а лише змінювала алгоритм отримання зображень і їх обробки, вона не була впроваджена за висновками фахівців департаменту ЦА Міністерства транспорту України із-за своєї "складності" та за браком коштів. Згадана методика з успіхом використовувалася при проведенні ряду окремих НДР стосовно подовження терміну служби світлосигнального обладнання.

Вісім років по тому з'явилася публікація стосовно того, що нині розробляється і готується до впровадження методика оцінки світлотехнічних параметрів вогнів світлосигнальної системи фахівцями Белфастського Королівського університету [7].

Методика передбачає застосування спеціально створюваного програмно апаратного комплексу на борту літака-лабораторії. Основою комплексу є спеціально калібрована цифрова камера для тримання зображень. Отримане зображення порівнюється з синтезованим програмними засобами зображенням для заданої точки спостереження (для точки траєкторії у якій були отримані первинні знімки). Методика захищена міжнародним патентом WO/2007/012839 і вразі її запровадження потребуватиме значних фінансових вкладень.

Зважаючи на те, що згідно [4] наявність фотографій світлосигнальної системи є обов'язковою умовою отримання сертифікату придатності, **метою даної роботи** є розробка методики обробки фотографій, що подаються разом з доказовою документацією. Результати згаданої обробки повинні являти собою кількісні показники для оцінки працездатності системи.

**Результати роботи.** Явище дифракції світла на круглому отворі має особливо важливе практичне значення, тому що в оптичних приладах всі оправы лінз й об'єктивів мають круглу форму. Тому при розробці й експлуатації багатьох оптичних приладів (зорових труб, мікроскопів, фотооб'єктивів й інших систем) обов'язково доводиться враховувати явище дифракції на круглому отворі. Дифракційна картина, що спостерігається від точкового джерела монохроматичного випромінювання у фокальній площині об'єктива, являє собою центральну яскраву пляму, оточену темними і світлими концентричними кільцями, що чергуються (рис. 1). Інтенсивність світлих кілець до периферії швидко зменшується. Практично неозброєним оком можна побачити тільки одне-два перших кільця.

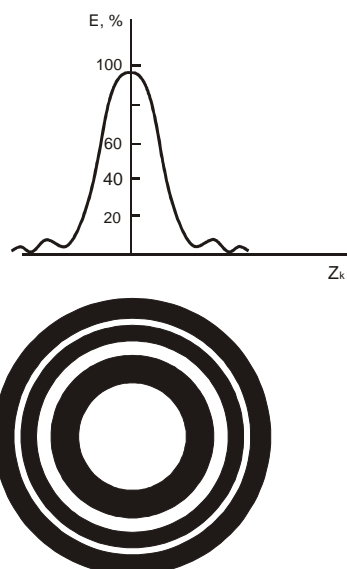


Рис.1. Дифракційна картина від точкового джерела монохроматичного випромінювання у фокальній площині об'єктива

Така картина дифракції типова майже для всіх оптичних систем, тому що виникає при проходженні світла через оптичні деталі, обмежені круглими оправами лінз і діафрагм.

Світлова енергія в дифракційному зображенні точки розподіляється нерівномірно. Розподіл освітленості в дифракційних кільцях уперше було досліджено англійським вченим Ейрі, тому центральний кружок дифракційної плями одержав назву кружка Ейрі (або диска Ейрі). Практично в безаберацийних системах майже вся світлова енергія зображення зосереджена в кружку Ейрі (~84%) і в перших двох-трьох кільцях.

У результаті розрахунків освітленості, в основу яких був покладений принцип Гюйгенса, встановлено, що радіуси дифракційних кілець, що відповідають максимумам і мінімумам інтенсивності (освітленості), можна, визначити з наступного виразу:

$$\rho_k = \frac{z_k \lambda f'}{\pi n'_k D},$$

де  $z_k$  — деякий числовий коефіцієнт;  $n'_k$  — показник заломлення оптичної системи в просторі зображень;  $k$  — номер кільця (світле або темне);  $f'$  — фокусна відстань об'єктива;  $D$  — діаметр отвору об'єктива.

Освітленість зображення точкового джерела  $E$  пов'язана з аргументом  $z_k$  за допомогою функції Бесселя першого роду першого порядку. Коефіцієнти  $z_k$ , отримують в результаті досліджень. У результаті вищезгаданого на приймачі, що працюють у режимі накопичення (фотоплівка, ПЗЗ-матриця) виникає відоме явище залежності площі (або квадрата діаметра) зафіксованого диска Ейрі від експозиції  $H$ , тобто добутку освітленості  $E$  на час експозиції  $t$ . У поле зору попадає багато об'єктів відображення, і всі вони фіксуються при одному часі експозиції. Отже площа кружка Ейрі буде визначатися лише освітленістю зображення.

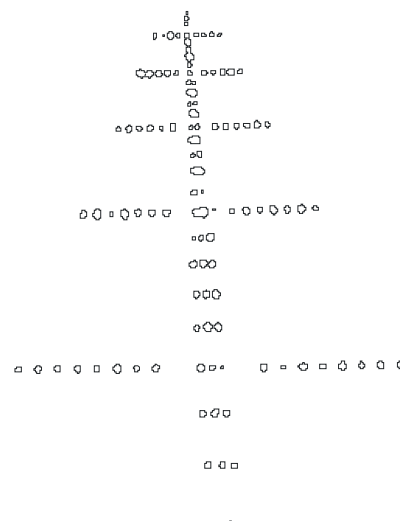
У свою чергу, освітленість зображення визначатиметься силою світла точкового джерела у напрямку спостереження. З огляду на геометричні розміри світних отворів аеродромних вогнів та відстані фотографування, вони цілком можуть вважатися точковими випромінювачами. І до їх зображень цілком справедливі вищенаведені твердження.

Для прикладу, розглянемо фотографію вогнів наближення за схемою Кальверта отриману під час обльоту і надану у складі доказової документації для отримання сертифікату придатності (рис. 2а). Для визначення діаметрів зображень був обраний певний рівень яскравості зображення й визначена лінія, що його обмежує - лінія рівної яскравості зображення. Зробити це досить просто застосовуючи стандартний набір цифрових фільтрів, що входять до всіх програмних пакетів обробки растрової графіки.

Результат такої обробки знімка на рис. 2а представлений на рис. 2б. Так як знімки отримуються з рухомого літака, то у залежності від часу експозиції зображення можуть мати вигляд коротких відрізків, тому для підрахунків слід взяти поперечні розміри зображень.



а



б

Рис. 2. Зображення вогні наближення за схемою Кальверта – а; результат цифрової обробки з метою визначити лінії рівної яскравості зображення.

Оцінка сили світла вогню у напрямку спостереження здійснюється порівнянням площі зображення вогню взятого за взірць з площею зображення досліджуваного вогню. За взірцеве може бути взяте зображення з найбільшими розмірами. Таким може бути зображення вогню вибраного у результаті наземних перевірок або заздалегідь встановленого нового вогню. Враховуючи той відомий факт, що освітленість зображення пропорційна яскравості об'єкта (для точкового джерела – його силі світла), та при умові роботи на лінійній ділянці люкс-амперної характеристики приймача Відносна сила світла у напрямку спостереження  $I_{\text{відн.}}$  визначиться як.

$$I_{\text{відн.}} = \frac{S_x}{S_0} = \frac{d_x^2}{d_0^2}$$

де  $I_{\text{відн.}}$  – відносна сила світла вогню у напрямку спостереження;  $S_x$ ,  $S_0$  – площі зображень досліджуваного і взірцевого вогню відповідно;  $d_x$ ,  $d_0$  – поперечні перерізи зображень досліджуваного і взірцевого вогню відповідно.

Значення перерізів  $d_x$ ,  $d_0$  можна визначити кількома способами. Найпростіший – за допомогою лінійки (на роздрукованому збільшеному зображенні) або виміральної лупи. Можна, також, це зробити у середовищі програм обробки растрової графіки, тощо. Описана обробка придатна до використання персоналом з низькою кваліфікацією контролюючих органів. Обслуговуючий персонал світлотехнічної системи який, власне, і отримує зображення може підвищити точність вимірювань провівши попередню калібровку фотокамери і коректувати вимірювані дані згідно калібровочної таблиці або графіка. Детальніше ця процедура описана у [5].

Результати оцінки сили світла вогнів у напрямку фотографування представлені в табл. 1. Значення наведені відносно вогню взятого за взірць Відповідно значення його сили світла дорівнює 1. Топологія вогнів наближення в таблиці збережена.

За результатами технічної експертизи, світлосигнальна підсистема, зображення якої було наведено на рис. 2а була визнана непрацездатною і демонтована.

Відмітимо, що сила світла в напрямку фотографування залежить не тільки від технічного стану вогнів, але й від правильної орієнтації їх світлооптичних осей. Але з точки зору безпеки польотів ці фактори рівноправні.

Таблиця 1

**Відносна сила світла вогнів у напрямку фотографування**

0,03
0,23
0,14
0,23
0,14
$0,14*0,03*0,40*0,14*0,18*0,17*0,14*0,17*0,11$
0,40
0,23
0,84
0,19
$1,00*0,54*0,47*0,47*0,14*0,18*0,34*0,23*0,34*0,63*0,17$
$0,27*0,06$
$0,34*0,34$
$0,13*0,14$
$0,22*0,22$
$0,14*0,34*0,27*0,34*0,18*0,34*0,14*0,27*0,34*0,27*0,34*0,28*0,48*0,23$
$0,40*0,40$
$0,23*0,34$
$0,50*0,50$
$0,29*0,04$
$0,34*0,69*0,18*0,48*0,34*0,34*0,56*0,00*0,63*0,63*0,34*0,55*0,34*0,56*0,42*0,56*0,25$
$0,11*0,27*0,56$
$0,50*0,56*0,44$
$0,34*0,44*0,56$
$0,29*0,63*0,56$
$0,21*0,50*0,44*0,34*0,34*0,56*0,27*0,48*0,63*0,27*0,10*0,56*0,21*0,69*0,44*0,50*0,21*0,50*0,46$
$0,34*0,44*0,44$
$0,44*0,34*0,29$
$0,44*0,63*0,50$

Коментарем до запропонованого способу оцінки є результат аналогічної обробки знімка отриманого під час обльоту світлосигнальної системи за схемою ALPA-ATA, що експлуатувалася не більше 3 років (рис. 3). Знімок був трохи передержаний при зніманні (подовжені контуру ліній рівної яскравості). Слід звернути увагу на майже рівні розміри поперечних перерізів контурів у межах лінійного вогню. Плавне їх убавання у бік ЗПС - наслідок правильного візування вогнів.

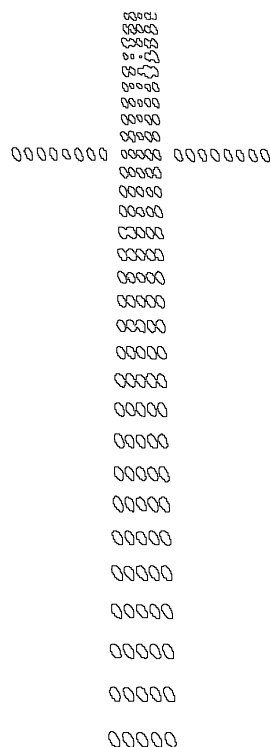


Рис. 3. Результат обробки знімка отриманого під час обльоту світлосигнальної системи за схемою ALPA-ATA, що експлуатувалася не більше 3 років.

### Висновки

Запропонований метод обробки зображень світлосигнальної системи аеродрому які отримуються під час обльоту і надаються як частина доказової документації для отримання сертифікату придатності до експлуатації, дозволяє отримати кількісні показники для оцінки працездатності системи вогнів.

Впровадження описаного методу не потребує значних капітальних вкладень і дозволить покращити контроль світлотехнічних параметрів вогнів фахівцями експлуатуючих і контролюючих служб, що безумовно поліпшить безпеку польотів на аеродромах цивільної авіації.

### Список літератури

1. Аэродромы. Приложение 14 к Конвенции о международной гражданской авиации: В 2 т. / 4-е изд., июль 2004. – Т. 1. Проектирование и эксплуатация аэродромов.
2. Руководство по лётной проверке наземных средств радиосветотехнического обеспечения полётов и связи. М.: Воздушный транспорт, 1991. 216 с.
3. Пособие по лётной проверке наземных средств радиосветотехнического обеспечения полётов и связи. - М.: Воздушный транспорт, 1991, 12 с
4. Сертифікаційні вимоги до цивільних аеродромів України” (СВ ЦАУ), наказ Державіаслужби України від 17 березня 2006 р., № 201.
5. Степура В. И. Богаенко К.И. Фотометрическая обработка изображений аэродромного светосигнального оборудования: Автоматизация виробничих процесів. 2000. - № 1 (10). с.68-72.
6. Степура В. І. Технічне діагностування систем аеродромних світлосигнальних вогнів у процесі експлуатації: Дис. канд. техн. наук: спеціальність 05.09.07 – К., 2003. – 244 с.
7. Dr Karen McMenemy, Dr James Niblock and Dr Jian-Xun Peng Monitoring the performance of aerodrome ground lighting: International Airport Review Volume 12. Issue 3. 2008, p.60-64.

### ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ ССА ПОЛУЧЕННЫХ ВО ВРЕМЯ ОБЛЕТА

В.И. Степура

*Предложена методика обработки изображений ССА, полученных при её облёте.*

### THE HANDLING OF IMAGES CCA OBTAINED DURING FLIGHT

V.I. Stepura

*The methods of processing CCA images that were taken during the flight are offered.*